

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra robototechniky**

Návrh a realizace jednoduchého kamerového  
subsystému pro stávající MR

*The Mechanical Design and Realization of a  
Simple Visual Subsystem for an Existing Mobile  
Robot*

Student:

Jaroslav Pavelka

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Špaček

Ostrava 2009

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

### **Prohlašuji, že**

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : .....

.....

Jaroslav Pavelka

Bezručova 427/34  
741 01 Nový Jičín

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

PAVELKA, J. Návrh a realizace jednoduchého kamerového subsystému pro stávající MR. Ostrava: katedra robototechniky, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 47 s. Bakalářská práce, vedoucí: Špaček, P.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem a realizací jednoduchého kamerového subsystému pro stávající mobilní robot. Kamerový subsystém má dva stupně volnosti a je určen pro venkovní použití. Polohování je uskutečňováno rotací ve dvou osách – horizontální a vertikální. Oba rotační pohyby jsou vyvozeny modelářskými servy značky HITEC. Ke snímání okolního prostředí je využito dvou kamer.

## **ANNOTATION OF THESIS**

PAVELKA, J. The Mechanical Design and Realization of a Simple Visual Subsystem for an Existing Mobile Robot. Ostrava: Department of Robotics, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 47 p. Thesis, head: Špaček, P.

Thesis is dealing with the mechanical design and realization of a simple visual subsystem for an existing mobile robot. Visual subsystem has two degrees of freedom and it is determined by outdoor application. Positioning is realized by rotation in two axes – horizontal and vertical. Both of rotational movements are produced by driving units – servos of HITEC mark. To scanning of surrounding area are used two cameras.

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Petru Špačkoví a panu Ing. Václavu Krysovi za odborné konzultace při zpracování bakalářské práce.

## Obsah

<b>Seznam použitého označení.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Požadavkový list.....</b>	<b>10</b>
<b>3. Přehled stávajících polohovacích mechanismů.....</b>	<b>11</b>
3.1. Polohovací mechanismy statické.....	11
3.2. Polohovací mechanismy dynamické bez převodu.....	11
3.3. Polohovací mechanismy dynamické s převodem.....	14
<b>4. Ukázka stávajícího mobilního robotu.....</b>	<b>18</b>
<b>5. Přehled požadovaných použitých komponent.....</b>	<b>19</b>
5.1. Hlavní kamera.....	19
5.2. Zadní kamera.....	19
5.3. Modelářské servo.....	20
5.3.1. Popis modelářského serva.....	21
5.3.2. Řízení modelářského serva.....	22
5.3.3. Přepočty parametrů modelářského serva.....	23
<b>6. Varianty řešení.....</b>	<b>26</b>
6.1. Návrh variant řešení.....	26
6.1.1. Varianta A.....	26
6.1.2. Varianta B.....	26
6.1.3. Varianta C.....	27
6.2. Výběr optimální varianty.....	28
6.2.1. Zvolení požadovaných kritérií a přiřazení důležitosti.....	28
6.2.2. Určení významnosti kritérií.....	29
6.2.3. Výpočty celkových indexů variant.....	29
6.2.4. Zhodnocení.....	30
<b>7. Konstrukce polohovacího mechanismu.....</b>	<b>31</b>
7.1. Pohybové uzly.....	31
7.1.1. Vertikální rotace.....	32
7.1.2. Horizontální rotace.....	33
7.2. Napínání ozubeného řemenu.....	36
7.3. Držák zadní kamery.....	37
7.4. Krytování kamer.....	37

7.4.1. Krytování hlavní kamery.....	37
7.4.2. Krytování zadní kamery.....	38
7.5. Spojení páky a ozubené řemenice.....	39
<b>8. Kontrolní výpočty.....</b>	<b>40</b>
8.1. Kontrola pohonů.....	40
8.1.1. Kontrola pohonu vertikální rotace.....	40
8.1.2. Kontrola pohonu horizontální rotace.....	41
8.2. Kontrola ložisek.....	41
8.3. Pevnostní analýza hřídele.....	43
8.4. Osová vzdálenost ozubených řemenic.....	44
<b>9. Závěr.....</b>	<b>45</b>
<b>10. Použitá literatura.....</b>	<b>46</b>
<b>11. Přílohy.....</b>	<b>47</b>

## Seznam použitého označení

Označení	Význam označení	Jednotka
$C$	dynamická únosnost ložiska	[kN]
$C_0$	statická únosnost ložiska	[kN]
$F_a$	axiální síla působící na ložisko	[N]
$F_r$	radiální síla působící na ložisko	[N]
$I_{hr}$	moment setrvačnosti všech hmot konajících hor. rotaci	[kg.m <sup>2</sup> ]
$I_{vr}$	moment setrvačnosti všech hmot konajících ver. rotaci	[kg.m <sup>2</sup> ]
$L_w$	délka ozubeného řemene	[mm]
$L_{10}$	základní trvanlivost, miliony otáček	[10 <sup>6</sup> ot]
$L_{10h}$	základní trvanlivost, provozní hodiny	[hod]
$M_{SI}$	krouťící moment	[N.mm]
$M_s$	krouťící moment modelářského serva	[N.mm]
$M_{hr}$	potřebný krouťící moment pro horizontální rotaci	[N.mm]
$M_{vr}$	potřebný krouťící moment pro vertikální rotaci	[N.mm]
$P$	ekvivalentní dynamické zatížení	[kN]
$d_w$	průměr roztečné kružnice ozubené řemenice	[mm]
$f_0$	součinitel vycházející z poměru $F_a/C_0$	[-]
$g$	tíhové zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$m_{vr}$	hmotnost všech hmot konajících vertikální rotaci	[kg]
$n_s$	otáčky modelářského serva	[ot.min <sup>-1</sup> ]
$p$	exponent rovnice trvanlivosti ložiska	[-]
$t_s$	doba za kterou m. servo dosáhne maximální rychlosti	[s]
$\alpha_s$	úhlové zrychlení modelářského serva	[rad.s <sup>-2</sup> ]
$\omega_s$	úhlová rychlost modelářského serva	[rad.s <sup>-1</sup> ]



## 1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem a realizací jednoduchého kamerového subsystému pro stávající mobilní robot (MR). Nyní je MR opatřen statickým polohovacím mechanismem. To znamená, že polohování kamery nelze ovládat ze stanoviště operátora a je nutno ho zajišťovat manuálně (vždy před výjezdem MR).

Mým cílem je vytvořit dynamický polohovací mechanismus se dvěma stupni volnosti. Polohování bude uskutečňováno rotacemi ve dvou osách – vertikální a horizontální. Mechanismus bude osazen dvěma kamerami. První kamera bude kamerou hlavní a bude vykonávat pohyb v obou osách. Operátorovi bude přenášet obraz prostoru před MR. Druhá kamera bude kamerou zadní a bude vykonávat pouze pohyb ve vertikální ose. Operátorovi pak bude přenášet informace o prostoru za MR. Pro obě kamery je třeba vytvořit vhodné krytování, jež je bude chránit před mechanickým poškozením a okolními vlivy.

Samotná práce je rozdělena do několika kapitol. V druhé kapitole jsou uvedeny požadavky na kamerový subsystém. V kapitole třetí jsou pak uvedeny různé způsoby provedení polohovacích mechanismů. Na základě tohoto rozboru byly vytvořeny tři varianty řešení uvedené v kapitole šest. Součástí této kapitoly je i výběr optimální varianty. Sedmá kapitola obsahuje již detailní konstrukční rozpracování optimální varianty. V kapitole osmé jsou pak některé konstrukční uzly doloženy výpočty.

## 2. Požadavkový list

- použití barevné kamery EQ-2700 DSP (hlavní kamera)
- použití barevné CCD kamery MTV-54K0P (zadní kamera)
- rotace hlavní kamery ve vertikální a horizontální ose
- rotace zadní kamery pouze ve vertikální ose
- souosost obou kamer ve výchozí poloze
- rozsah úhlu záběru hlavní kamery ve vertikální ose  $\pm 90^\circ$
- rozsah úhlu záběru hlavní kamery v horizontální ose  $\pm 90^\circ$
- návrh krytování obou kamer kvůli ochraně před znečištěním a mechanickým poškozením
- použití dvou modelářských serv Hitec HS-635-HB
- minimalizace hmotnosti a výšky

### 3. Přehled stávajících polohovacích mechanismů

#### 3.1 Polohovací mechanismy statické

Jedná se o polohovací mechanismy se dvěma stupni volnosti. V současné době je stávající MR opatřen právě tímto typem polohovacího mechanismu. Jednotlivé polohy kamery jsou nastavovány manuálně a během jízdy MR je nelze měnit. Výhodou těchto mechanismů je jejich tuhost a vysoká nosnost.

##### 15-B004 ultraminiaturní držák kamery

Jedno z možných řešení držáku kamery. [10]



výška – 60 [mm]  
průměr základny – 50 [mm]  
maximální nosnost – 3 [kg]  
hmotnost – 0,05 [kg]

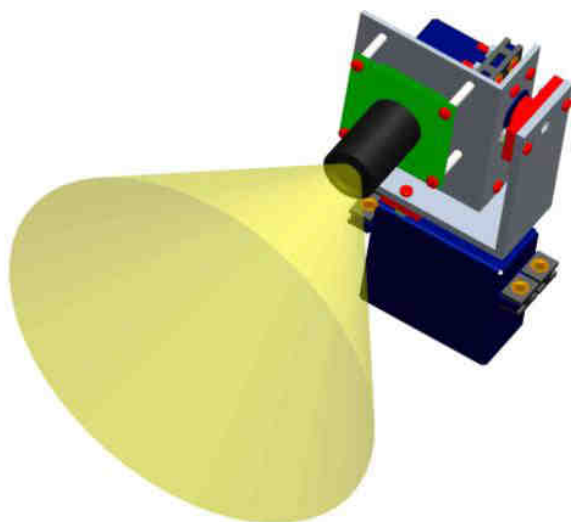
Obr. 1

#### 3.2 Polohovací mechanismy dynamické bez převodu

Tyto polohovací mechanismy jsou specifické tím, že nevyužívají žádných převodů (vyjma převodů uvnitř pohonu). Konstrukčně jsou řešeny tak, že na výstupním hřídeli (páce) pohonu je přímo připevněna jednotka, se kterou provádíme polohování. Jako pohony jsou ve většině případů použity buď modelářská serva nebo stejnosměrné motory. Modelářská serva lze však použít jen v těch případech, kdy polohujeme kamery menších rozměrů a nízkých hmotností.

## Bakalářská práce – „Polohování kamery“

V této práci je popsán návrh autonomní polohovací jednotky (obr. 2) pro miniaturní kameru (MTV-54K0P). Polohování kamery je uskutečňováno ve dvou osách (horizontální a vertikální). K pohonu jednotlivých stupňů volnosti je použito modelářských serv značky Hitec (typ HS-225MG a HS-635HB). Tento polohovací mechanismus je pro můj případ nevhodný, jelikož je určen pro kameru malých rozměrů a nízké hmotnosti. Vhodné pro malé dálkově řízené roboty. [11]



Obr. 2

### Hitec HS-225MG

kroutící moment – 3,9/4,8 [kg.cm]

rychlost – 0,14/0,11 [sec/60°] při 4,8 [V]

hmotnost – 0,031 [kg]

rozměry – 32 x 17 x 31 [mm]

### Hitec HS-635 HB

kroutící moment – 5,0/6,0 [kg.cm]

rychlost – 0,18/0,15 [sec/60°] při 4,8 [V]

hmotnost – 0,052 [kg]

rozměry – 41 x 20 x 38 [mm]

## Lynx B souprava

Polohovací mechanismus (obr. 3, obr. 4, obr. 5) je určen k natáčení a naklápění kamery, senzorů apod. (dva stupně volnosti). K pohonu jednotlivých stupňů volnosti je použito modelářských serv značky Hitec (typ HS-422). Určeno k montáži na vodorovnou plochu. Tento polohovací mechanismus je pro můj případ nevhodný, jelikož je určen pro kameru malých rozměrů a nízké hmotnosti. Vhodné pro malé dálkově řízené roboty. [12]



Obr. 3

### **Hitec HS-422**

kroučící moment – 3,3/4,1 [kg.cm]

rychlost – 0,21/0,16 [sec/60°] při 4,8 [V]

hmotnost – 0,0455 [kg]

rozměry – 41 x 20 x 37 [mm]



Obr. 4



Obr. 5

### **PTU-D46**

Tento polohovací mechanismus (obr. 6) je velmi podobný mechanismu Lynx B s tím rozdílem, že jako pohonů jsou použity stejnosměrné motory. To má za následek zvýšení nosnosti a kroučícího momentu na úkor vyšší hmotnosti a větších rozměrů. Je také docíleno větší opakovatelné přesnosti polohování. Tento polohovací mechanismus je pro můj případ nevhodný, jelikož jeho konstrukce je řešena na základě použití stejnosměrných motorů. Hmotnost a rozměry jsou taktéž nevhodné. Polohovací mechanismus je vhodný pro širokou škálu aplikací. [13]



rychlost – 300 [°/sec]  
 přesnost polohování – 0,003 [°]  
 maximální nosnost – 4 [kg]  
 hmotnost – 1,3 [kg]

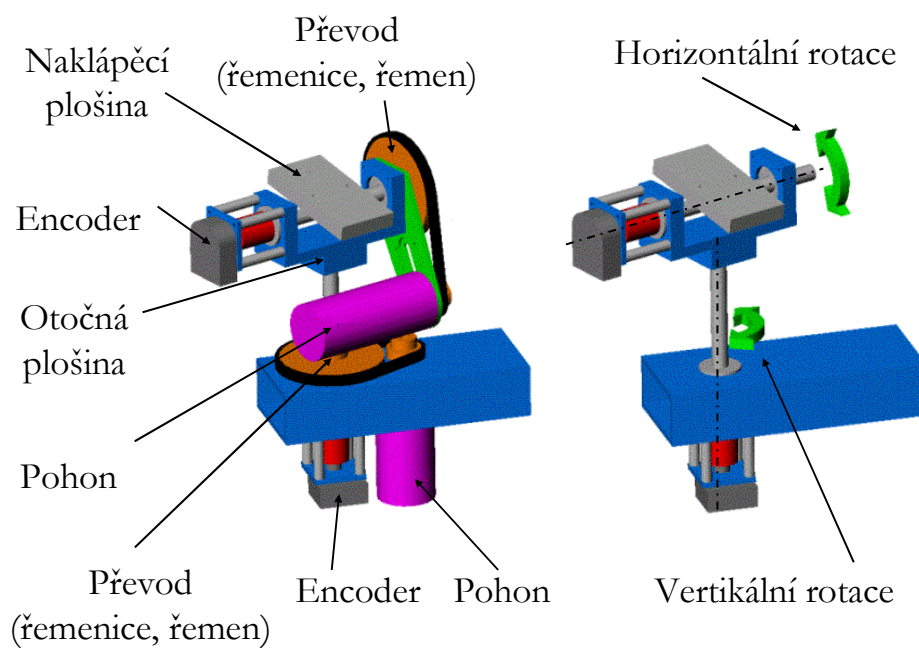
Obr. 6

### 3.3 Polohovací mechanismy dynamické s převodem

Tyto polohovací mechanismy jsou specifické tím, že využívají převodů (ozubené, řemenové, řetězové). Konstrukčně jsou řešeny tak, že z výstupního hřídele (páky) pohonu je kroutící moment přenášen převodem na prvek, se kterým provádíme polohování. Jako pohony jsou ve většině případů použity buď modelářská serva nebo stejnosměrné motory. Modelářská serva lze však použít jen v těch případech, kdy polohujeme kamery menších rozměrů a nízkých hmotností.

#### Princip polohování

Na následujícím obrázku (obr. 7) je znázorněn princip polohování. K přenosu kroutícího momentu je využit řemenový převod. [14]



Obr. 7

### Konkrétní řešení polohovacího zařízení 1

Zařízení se dvěma stupni volnosti pro robustní kamery (obr. 8, obr. 9), zaručující bezpečnost a stabilitu. Mechanismus je řízen dvěma modelářskými servy značky Hitec (typ HS-785). Přenos kroutícího momentu je zajištěn řetězovým převodem. [15]

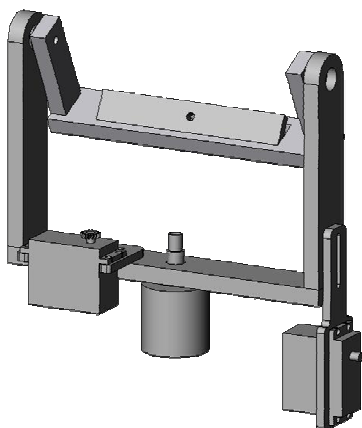
#### Hitec HS-785

kroutící moment – 11 [kg.cm]

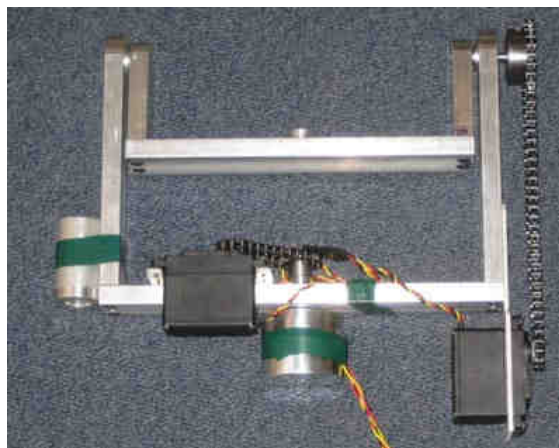
rychlost – 1,68 [sec/60°] při 4,8 [V]

hmotnost – 0,110 [kg]

rozměry – 59 x 29 x 50 [mm]



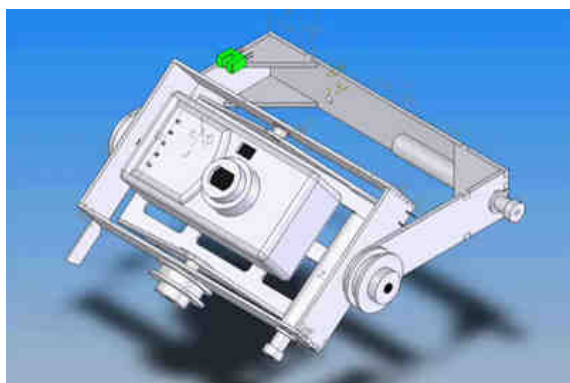
Obr. 8



Obr. 9

### Konkrétní řešení polohovacího zařízení 2

Tento polohovací mechanismus (obr. 10, obr. 11) je určen pro snímání prostředí z létající helikoptéry. Zařízení má dva stupně volnosti. Mechanismus je řízen dvěma stejnosměrnými motory o hmotnosti 0,027 [kg] a výkonu 3 [W]. Přenos krouticího momentu je zajištěn řemenovým převodem (ozubený řemen). [16]



Obr. 10



Obr. 11

### Konkrétní řešení polohovacího zařízení 3

Zařízení se dvěma stupni volnosti (obr. 12). Mechanismus je řízen dvěma modelářskými servy značky Hitec. Přenos krouticího momentu je zajištěn ozubeným převodem (válcová čelní kola s přímým vnějším ozubením). [17]





Obr. 12

#### 4. Ukázka stávajícího mobilního robotu

Jedná se o mobilní robot pro průzkum prostředí (obr. 13).

V současné době je využíván především jako testovací platforma pro různé subsystemy, konkrétně ladění řídicího systému, ověřování možnosti navigace pomocí kamer a senzorů a zkoušky dosahu a spolehlivosti bezdrátového přenosu řídicích signálů a obrazu z kamery.

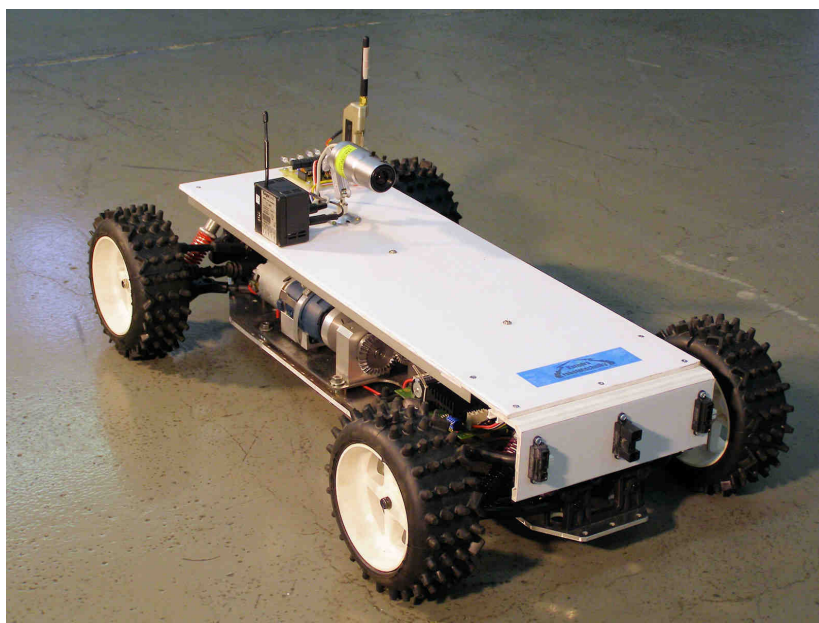
Podvozek mobilního robotu je z horní strany zakrytován nosnou deskou, určenou pro uchycení potřebných senzorů a elektroniky. Na tutéž nosnou desku bude šroubovými spoji připevněn kamerový subsystem.

Celý subsystem musí být připevněn v dostatečné vzdálenosti od přední nápravy tak, aby hlavní kamera byla schopna snímat přední kola a to ze dvou důvodů. Prvním důvodem je schopnost operátora zaznamenat překážku před koly MR. Druhým důvodem je možnost operátora rozhodnout, zda se MR se svým rozchodem kol vleze mezi překážky, kterými chce projet.

Napájení MR bude použito i pro napájení kamerového subsystemu (modelářská serva, kamery).

Rozměry nosné desky: 620 x 21 [mm]

Celkové rozměry MR: 740 x 410 x 160 [mm]



Obr. 13

## 5. Přehled požadovaných použitých komponent

### 5.1 Hlavní kamera

Jako hlavní kamera je použita kamera EQ-2700 DSP (obr. 14) [7]. Bude mít 2 stupně volnosti (2 rotace). Rozsah úhlu záběru kamery bude ve vertikální ose  $\pm 90^\circ$  a v horizontální ose taktéž  $\pm 90^\circ$ . Je třeba si však uvědomit, že rozsah úhlu záběru kamery není totožný s úhlem natočení kamery. Úhel natočení kamery bude vždy menší o polovinu zorného úhlu kamery.



Obr. 14

#### Hlavní parametry:

rozměry – 57 x 62,4 x 97,5 [mm]

hmotnost – 0,330 [kg]

napájení – 9 – 15 [V] DC

zorný úhel – 42 [°]

Další potřebné parametry jsou uvedeny v katalogovém listu kamery (viz. příloha 1).

### 5.2 Zadní kamera

Jako zadní kamera je použita desková CCD kamera MTV-54K0P (obr. 15) [8], která bude snímat prostor za MR. Bude mít pouze 1 stupeň volnosti a to rotaci ve vertikální ose spolu s hlavní kamerou. Toho dosáhneme tak, že zadní kameru umístíme pouze na ten prvek konstrukce, který bude vykonávat rotační pohyb ve vertikální ose. Dalším požadavkem je souosost osy zadní kamery a osy hlavní kamery při základní poloze celého subsystému.



Obr. 15

#### **Hlavní parametry:**

rozměry – 32 x 32 x 32 [mm]

hmotnost – nezjištěno

napájení – 12 [V] DC, 150 [mA]

zorný úhel – 68 [°]

Další potřebné parametry jsou uvedeny v katalogovém listu kamery (viz. příloha 2).

### **5.3 Modelářské servo**

Jedná se o rychlé standardní modelářské servo značky Hitec typ HS-635-HB (obr. 16) se zvýšeným tahem. Je vhodné pro větší a obří motorové modely, větší vrtulníky, větší modely aut a závodních lodí. Modelářské servo má karbonitové převody a dvě kuličková ložiska. [9]



Obr. 16

#### **Hlavní parametry:**

rozměry – 40,6 x 19,8 x 38,8 [mm]

hmotnost – 0,050 [kg]

napájení – 4,8 - 6 [V] DC

krouťící moment – 5 [kg.cm]

úhlová rychlost – 0,18 [sec/60°]

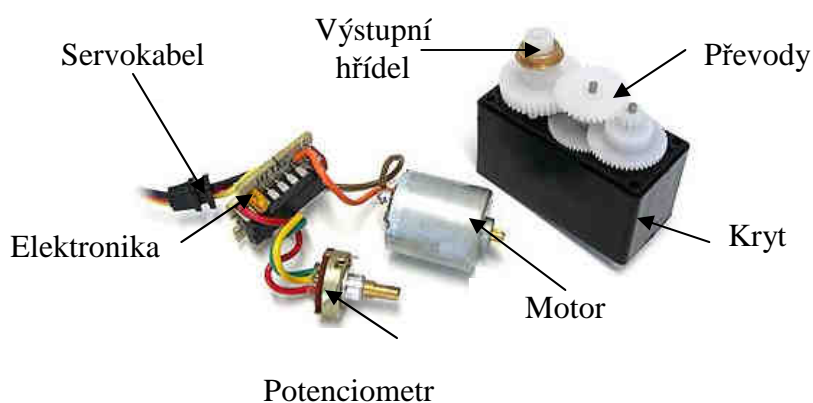
Další potřebné parametry jsou uvedeny v katalogovém listu modelářského serva (viz. příloha 3).

### 5.3.1 Popis modelářského serva

Modelářská serva jsou určeny pro řízení radiem řízených (RC) modelů. Jsou však také mimořádně vhodné pro řadu experimentů v robotice, ovládání malých automatizačních a laboratorních zařízení, ovládání v domácnosti (např. polohování žaluzií) apod. [18]

Modelářské servo obsahuje stejnosměrný motorek, převodovku a s výstupním hřídelem spřažený minutuární potenciometr použitý jako senzor úhlu natočení pro regulační obvod polohy (obr. 17). [19]

Na výstupním hřídeli je navíc nasazena páka, konkrétně páka čtyřramenná (obr. 18).



Obr. 17



Obr. 18

- Motor: vyvozuje kroutící moment.
- Převody: převodový poměr určuje poměr mezi rychlostí a tahem modelářského serva. Běžné je, že se serva vyrábějí ve dvojicích, které mají stejný motor a elektroniku, ale liší se převody - např. HS-625 a HS-645. Jedno z nich je potom silnější, ale pomalejší, druhé má zvýšenou rychlost na úkor tahu. Převody jsou nejčastěji plastové, pro větší zatížení a větší spolehlivost pak kovové.
- Potenciometr: snímá polohu výstupního hřídele a uzavírá tak zpětnou vazbu zajišťující správnou činnost modelářského serva. U menších a levnějších modelářských serv je potenciometr připojen přímo na výstupní hřídel, u serv vyšších kategorií je připojen přes zvláštní převod (tzv. nepřímý náhon), který velmi účinně chrání před přenosem vibrací. Poškození odporové dráhy potenciometru se může projevat jako zaškubávání modelářského serva v určité poloze nebo chvění v neutrální poloze.
- Výstupní hřídel : přenáší pohyb mechanismu modelářského serva na ovládací páku. U modelářských serv menších a nižších kategorií je uložen v plastovém pouzdru,

modelářská serva vyšších kategorií mají pro přesnější chod a vyšší životnost kuličková ložiska (jedno nebo ještě lépe dvě).

- Kryt: je vyroben z houževnatého plastu a je opatřena patkami pro montáž modelářského serva do modelu.
- Servokabel: třížilový kabel se silikonovou izolací s velkou ohebností. U modelářských serv větších rozměrů bývá z krouceného vodiče pro potlačení indukce rušivých napětí při vysokých proudech. Modelářské serva Hitec je zapojeno následovně: žlutý (oranžový) vodič – řídicí signál, červený – kladný pól napájení („plus“), hnědý – záporný pól napájení („minus“, „zem“).

Z výše uvedeného popisu vyplývají také hlavní parametry udávané pro modelářské servo:

- Síla tahu (kroutící moment): udává se obvykle v kg/cm
- Rychlost: udává se jako doba, za níž páka serva opíše určitý úhel - např. 0,18 s/60°.
- Převody: plastové nebo kovové
- Kuličková ložiska a jejich počet
- Rozměry a hmotnost

### 5.3.2 Řízení modelářského serva

Dle způsobu zpracování signálu se serva rozlišují na klasická analogová a digitální. V čem je rozdíl? Digitální zpracování řídicích impulsů je až pětikrát rychlejší, než analogové - odezva serva je proto rychlejší. [19]

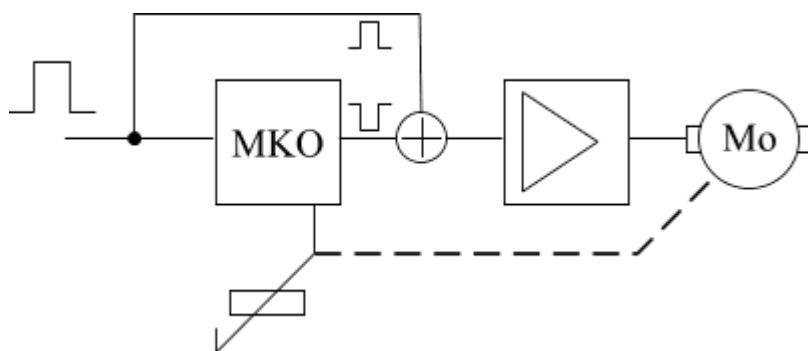
Serva všeobecně nekonají pohyb zcela plynulý, ale výchylka serva je rozdělena na určitý počet kroků - digitální serva pracují s mnohem vyšším počtem kroků a mohou tak pracovat přesněji, na hranici mechanických možností serva a jeho převodů. Navíc analogová serva jsou schopna vyvinout plný kroutící moment až při určité velikosti výchylky, zatímco digitální serva vykazují i pro nejmenší možný krok plný kroutící moment. To také znamená, že digitální serva mají až třikrát vyšší schopnost udržovat určitou polohu ovládací páky. [19]

Mikroprocesor v modelářském servu navíc nabízí možnost programování smyslu a velikosti výchylky serva, polohy neutrálu, rychlosti a šířky pásma necitlivosti. [19]

Všeobecně řečeno, jsou digitální serva rychlejší, silnější a přesnější než analogová serva stejné velikosti. Za tyto výhody se platí zvýšeným proudovým odběrem a vyšší pořizovací

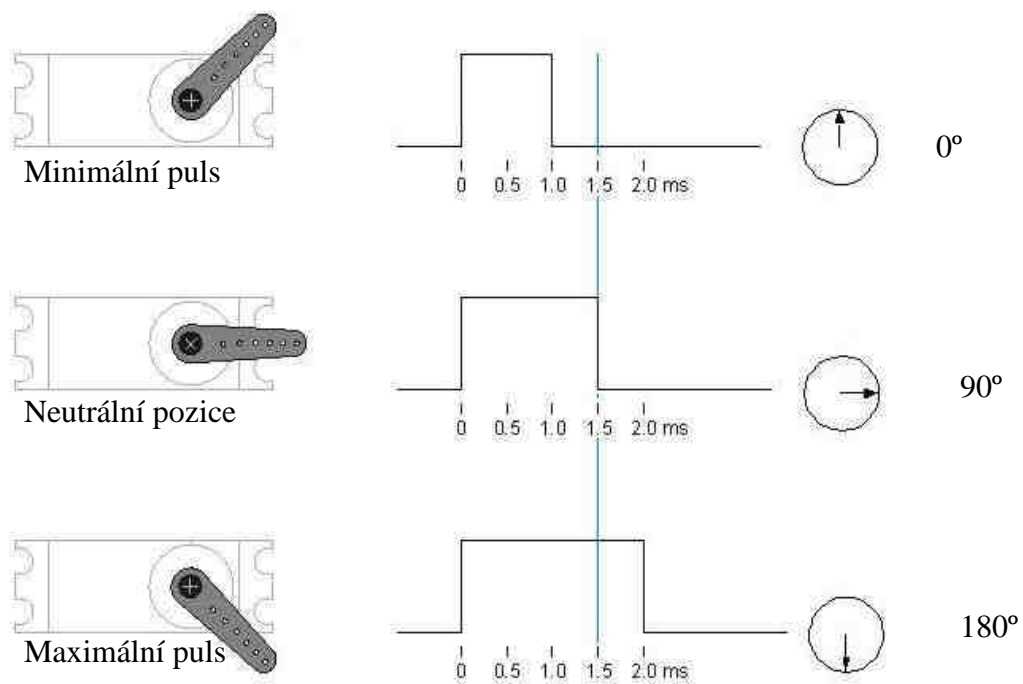
cenou - ta je dána jednak zatím menším objemem výroby a také nutností používat kvalitnější součástky a motory, jelikož jsou na ně kladeny vyšší nároky, než u analogových serv. [19]

Zjednodušené zapojení elektroniky je na blokovém schématu (obr. 19). Do vstupu přichází řídicí impuls, který spustí monostabilní klopný obvod, ten vygeneruje impuls o délce odpovídající momentální poloze serva a opačné polarity než je vstupní řídicí impuls. Tyto dva impulsy se porovnají a výsledkem je rozdílový impuls, který po zesílení přes můstkový spínač způsobí roztočení elektromotoru jedním nebo druhým směrem. Elektromotor přes převodovku otáčí výstupní hřídeli a současně i potenciometrem, který působí jako zpětná vazba do monostabilního klopného obvodu. Směr otáčení je takový, že impuls generovaný monostabilním klopným obvodem se svojí délkou přibližuje délce vstupního řídicího impulsu a až jsou oba impulsy stejně dlouhé, elektromotor se zastaví. Servo dosáhlo polohu, která odpovídá momentálně přijímanému řídicímu impulsu. [20]



Obr. 19

Dnes používaná serva pracují s kladnými řídicími impulsy o délce 1 – 2 [ms] (obr. 20). Délce impulsu 1,5 [ms] odpovídá střední poloha serva, 1 [ms] je jedna a 2 [ms] druhá krajní poloha. Mechanické provedení serva může být takové, že servo je schopno pohybu v rozsahu o něco větším než 180 stupňů, ale není to pravidlem. Většina modelářských serv má na koncích rozsahu pohybu mechanické blokování, na což je potřeba dávat pozor, protože při dojetí na doraz se výrazně zvýší proud odebíraný servem a může to skončit tím, že poškodí elektronika serva. [20]



Obr. 20

### 5.3.3 Přepočet parametrů modelářského serva

Kroutící moment a rychlost serva byly uvedeny v nestandardních jednotkách. Proto je třeba je přepočítat na standardní jednotky.

**Převod jednotek kroutícího momentu z [kg.cm] na [N.mm]**

$$M_{SI} = 1 [kg \cdot cm] = 98,0665 [N \cdot mm] \quad [21] \quad [5.1]$$

$$M_s = 5 \cdot [kg \cdot cm] \quad [5.2]$$

$$M_s = 5 \cdot M_{SI} = 5 \cdot 98,0665 = \underline{\underline{490,33 [N \cdot mm]}} \quad [5.3]$$



### Převod rychlosti z [sec/60°] na [rad.s<sup>-1</sup>]

$$\omega_s = 0,18 \text{ [sec/60°]} \quad [5.4]$$

o kolik stupňů se páka otočí za minutu:

$$\delta = \frac{60 \cdot 60}{\omega_s} = \frac{60 \cdot 60}{0,18} = 20\,000 \text{ [°]} \quad [5.5]$$

počet otáček

$$n_s = \frac{\delta}{360} = \frac{20\,000}{360} = 55,56 \text{ [ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad [5.6]$$

úhlová rychlost:

$$\omega_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_s}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 55,56}{60} = 5,82 \text{ [rad} \cdot \text{s}^{-1}] \quad [5.7]$$

## 6. Varianty řešení

### 6.1 Návrh variant řešení

#### 6.1.1 Varianta A

##### Rotace ve vertikální ose:

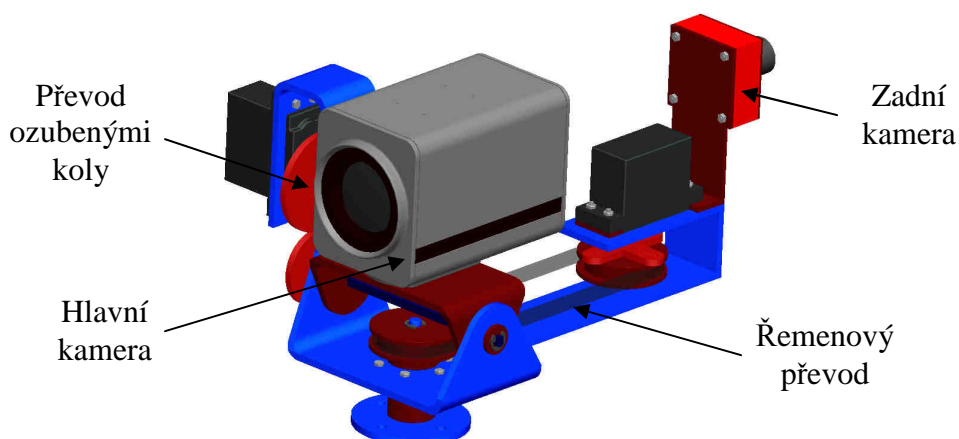
Umožnění pohybu: ložiska (jednořadá kuličková ložiska s těsněním)

Převod: řemenový (ozubený řemen a 2 ozubené řemenice)

##### Rotace v horizontální ose:

Umožnění pohybu: kluzná pouzdra

Převod: ozubenými koly (válcová čelní kola s vnějším přímým ozubením)



Obr. 21

#### 6.1.2 Varianta B

##### Rotace ve vertikální ose:

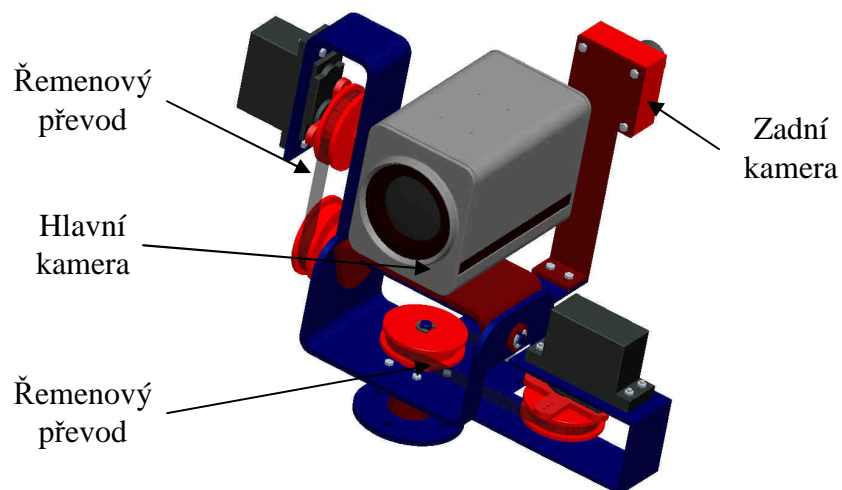
Umožnění pohybu: ložiska (jednořadá kuličková ložiska s těsněním)

Převod: řemenový (ozubený řemen a 2 ozubené řemenice)

##### Rotace v horizontální ose:

Umožnění pohybu: kluzná pouzdra

Převod: řemenový (ozubený řemen a 2 ozubené řemenice)



Obr. 22

### 6.1.3 Varianta C

#### **Rotace ve vertikální ose:**

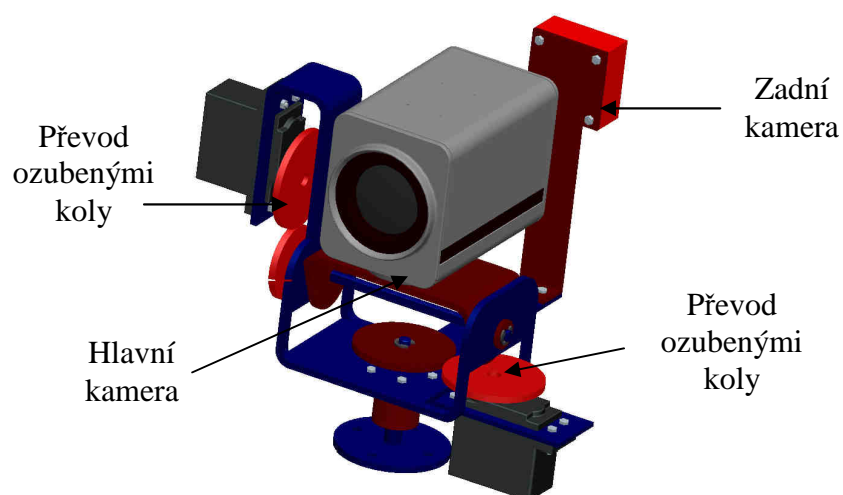
Umožnění pohybu: ložiska (jednořadá kuličková ložiska s těsněním)

Převod: ozubenými koly (válnocvá čelní kola s vnějším přímým ozubením)

#### **Rotace v horizontální ose:**

Umožnění pohybu: kluzná pouzdra

Převod: ozubenými koly (válnocvá čelní kola s vnějším přímým ozubením)



Obr. 23

## 6.2 Výběr optimální varianty

### 6.2.1 Zvolení požadovaných kritérií a přiřazení důležitosti

Byla zvolena následující kritéria:

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	vyváženost	vyváženost části vůči vertikální rotaci
K2	převod vertikální rotace	použitý typ převodu pro vertikální rotaci
K3	převod horizontální rotace	použitý typ převodu pro horizontální rotaci
K4	umístění serva	umístění serva pro vertikální rotaci
K5	hmotnost	maximální hmotnost

Tabulka 1

Přiřazení důležitosti:

Vysoká úroveň	6 b.
Dobrá úroveň	5 b.
Průměrná úroveň	4 b.
Nízká úroveň	3 b.
Nevyhovující úroveň	2 b.
Nepříznivý stav	1 b.

Tabulka 2

Pro váhu významnosti  $q$  byla zvolena lineární závislost:

$$q = 0,25 \cdot v + 0,75 \quad [1]$$

[6.1]

### 6.2.2 Určení významnosti kritérií

K určení významnosti kritérií bylo použito metody porovnávání v trojúhelníku páru [1]

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb $v$	Pořadí	Váha významnosti $q$
K1 K2	K1	K1	K1	1	4	1
	K3	K4	K5	-	-	-
	K2	K2	K2	3,5	1, 2	1,63
	K3	K4	K5	-	-	-
		K3	K3	3,5	1, 2	1,63
		K4	K5	-	-	-
			K4	2	3	1,25
			K5	0	5	0,75

Tabulka 3

### 6.2.3 Výpočty celkových indexů variant

Kritérium	Varianta A		
	Hodnota	Váha významnosti kritéria $q$	Vážený index kritéria $l_{ij}$
K1	3	1	3
K2	5	1,63	8,15
K3	2	1,63	3,26
K4	3	1,25	3,75
K5	2	0,75	1,5
Celkový součet vážených indexů $l_{ij}$ varianty A:			19,66

Tabulka 4

Kritérium	Varianta B		
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Vážený index kritéria $l_{ij}$
<b>K1</b>	5	1	5
<b>K2</b>	5	1,63	8,15
<b>K3</b>	5	1,63	8,15
<b>K4</b>	5	1,25	6,25
<b>K5</b>	3	0,75	2,25
Celkový součet vážených indexů $l_{ij}$ varianty B:			<b>29,8</b>

Tabulka 5

Kritérium	Varianta C		
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Vážený index kritéria $l_{ij}$
<b>K1</b>	5	1	5
<b>K2</b>	2	1,63	3,26
<b>K3</b>	2	1,63	3,26
<b>K4</b>	5	1,25	6,25
<b>K5</b>	5	0,75	3,75
Celkový součet vážených indexů $l_{ij}$ varianty C:			<b>21,52</b>

Tabulka 6

## 6.2.4 Zhodnocení

Varianta	Celkový součet vážených indexů $I_{ij}$
A	19,66
B	29,8
C	21,52

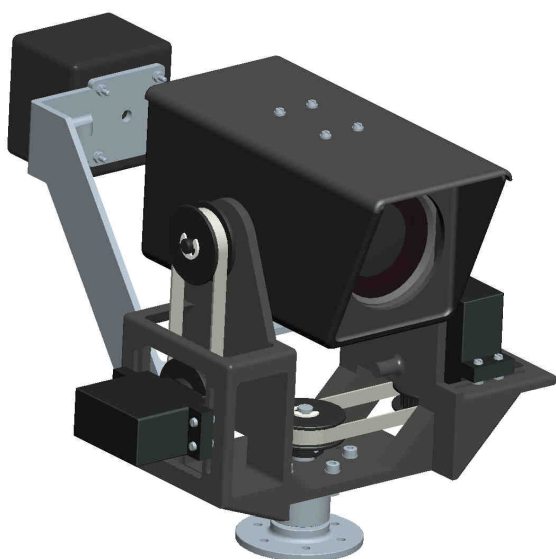
Tabulka 7

Z vyhodnocení hodnotové analýzy se jeví varianta B jako nejefektivnější.

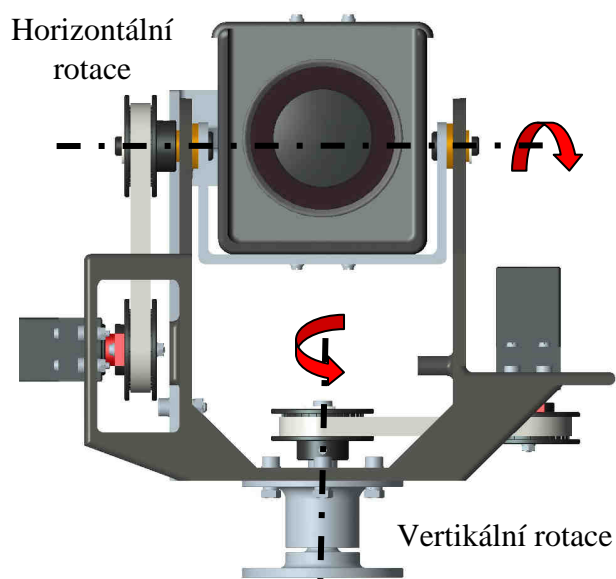
## 7. Konstrukce polohovacího mechanismu

### 7.1 Pohybové uzly

Polohovací mechanismus má 2 stupně volnosti – vertikální rotaci a horizontální rotaci (obr. 25). Každý ze stupňů volnosti je konstrukčně řešen jinak. Společný je pouze typ pohonu a typ převodu.



Obr. 24



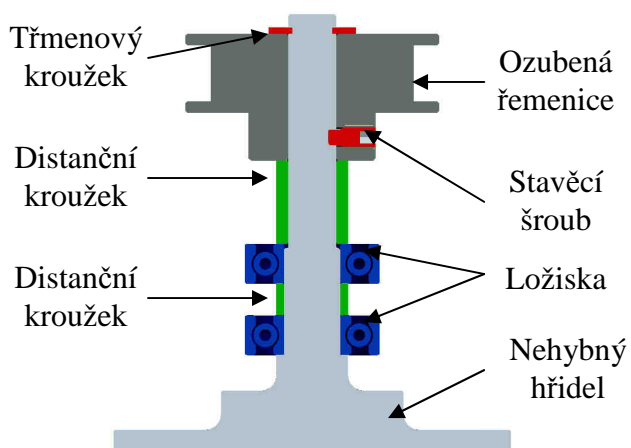
Obr. 25

### 7.1.1 Vertikální rotace

Vertikální rotace se uskutečňuje na nehybném hřídeli (obr. 26), který je připevněn na MR (tzn. samotný hřídel nevykonává žádný pohyb). Na hřídeli jsou navlečena dvě jednořadá kuličková ložiska, jež jsou oddělena distančním kroužkem. Další distanční kroužek odděluje horní ložisko a ozubenou řemenici [22] (viz. příloha 5) v dostatečné potřebné vzdálenosti.

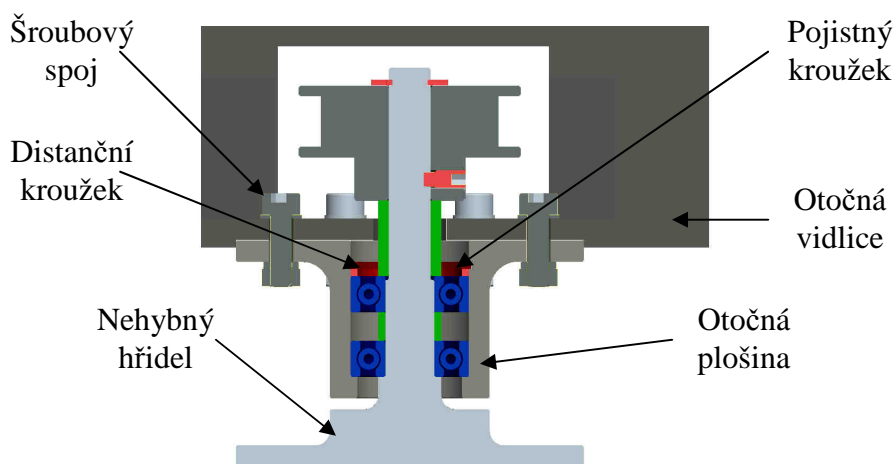
Ozubená řemenice je zajištěna proti

pootočení na hřídeli stavěcím šroubem. Vysunutí všech součástí z hřídele v axiálním směru je pojištěno třmenovým kroužkem.



Obr. 26

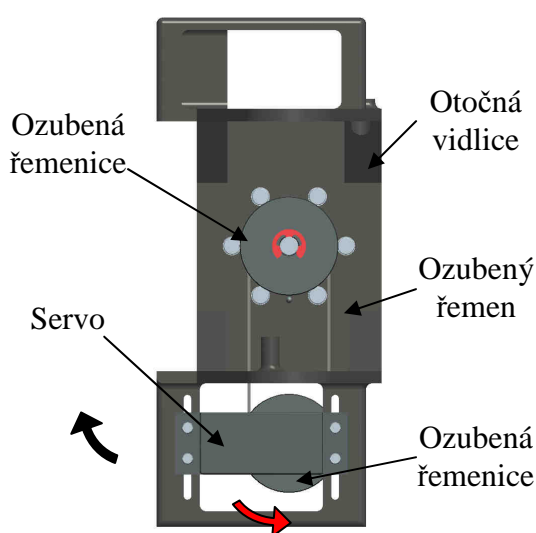
Prvkem, který vykonává rotaci na pevném hřídeli, je otočná plošina (obr. 27). Ta vytváří uložení s ložisky a je jí tak umožněn pohyb. Posunutí směrem nahoru ji zabraňuje spodní ložisko, o které se zachytává svým osazením. Posunutí směrem dolů ji brání distanční kroužek spolu s pojistným kroužkem. Distanční kroužek odděluje horní ložisko od pojistného kroužku, kvůli možné kolizi s těsněním ložiska. K otočné plošině je šroubovým spojem přichycena otočná vidlice, která také vykonává rotační pohyb.



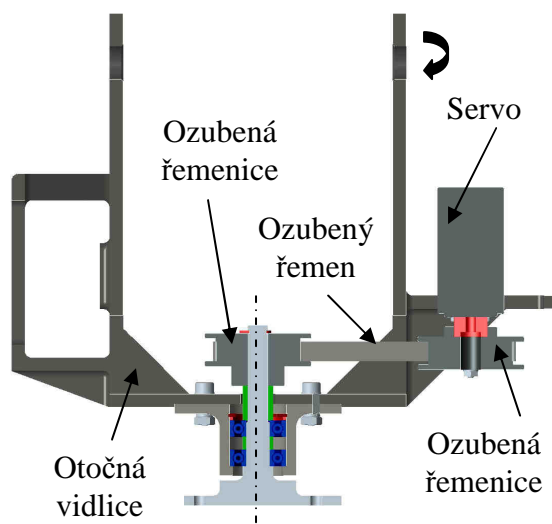
Obr. 27



Na otočné vidlici je umístěno servo s výstupní pákou (obr.28, obr. 29). Na výstupní páce je připevněna ozubená řemenice. Servo vyvozuje kroutící moment. Jelikož je druhá ozubená řemenice napevno, nedochází k přenosu kroutícího momentu. Ozubená řemenice serva je tak nucena se navíjet na ozubený řemen a tím také vykonávat rotační pohyb otočné vidlice spolu s otočnou plošinou.



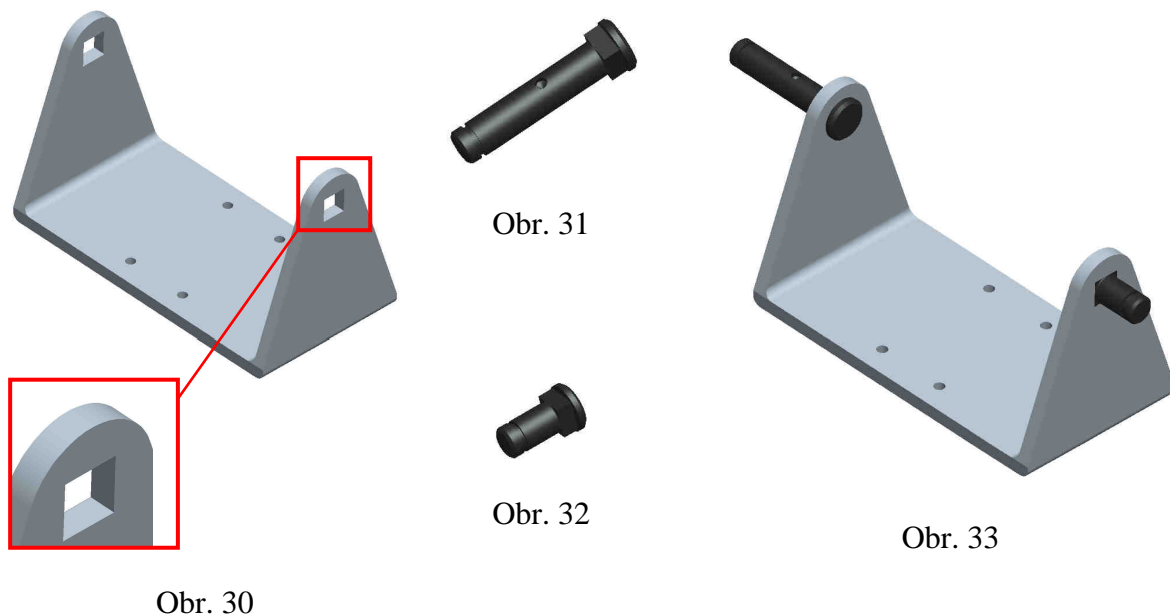
Obr. 28



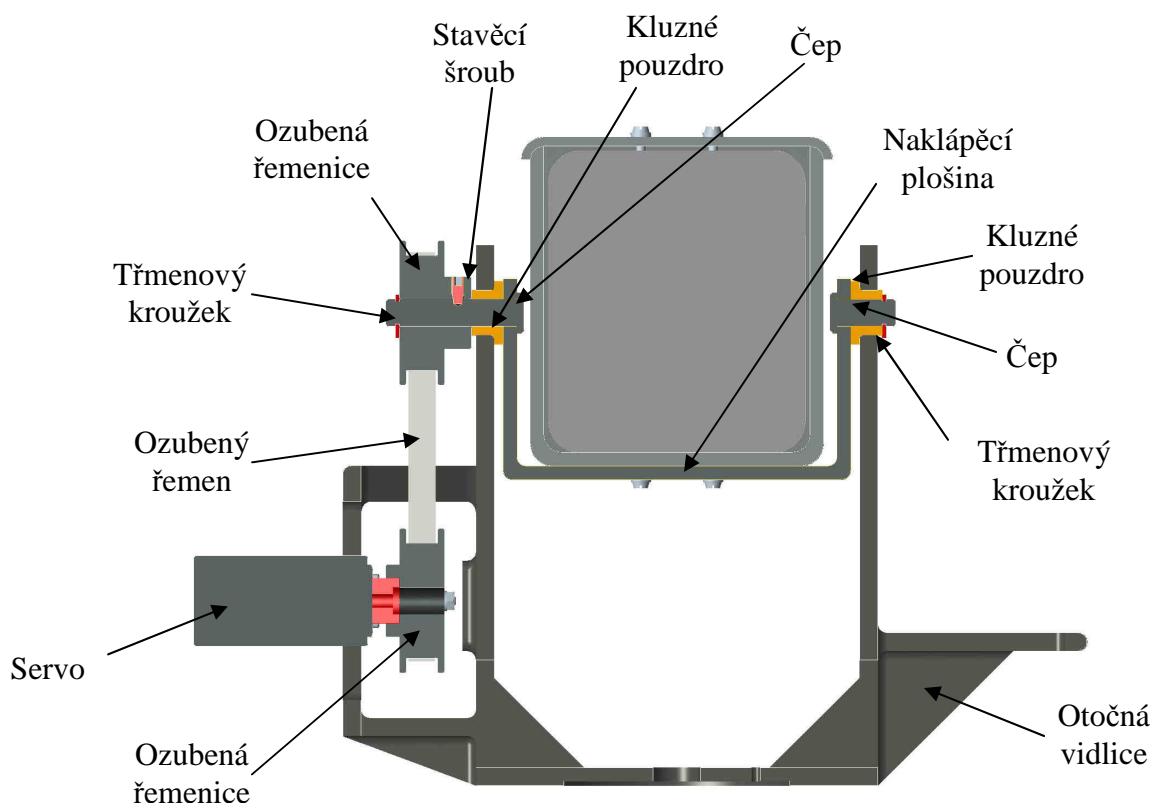
Obr. 29

### 7.1.2 Horizontální rotace

Základním prvkem horizontální rotace je naklápěcí plošina (obr. 30). Na dolní straně plošiny jsou čtyři díry pro připevnění hlavní kamery a pouzdra hlavní kamery. Dále je plošina opatřena dvěma otvory čtvercového tvaru, do kterých jsou zasunuty dva čepy (obr. 31, obr. 32). Za hlavou každého z čepů se nachází krátký úsek čtvercového průřezu. Delší z čepů (obr. 31) je navíc opatřen otvorem pro stavěcí šroub. Pomocí čtvercového otvoru a čtvercového průřezu zamezíme pootočení čepu v otvoru plošiny a dosáhneme tak přenosu kroutícího momentu z čepu na plošinu (obr. 33).

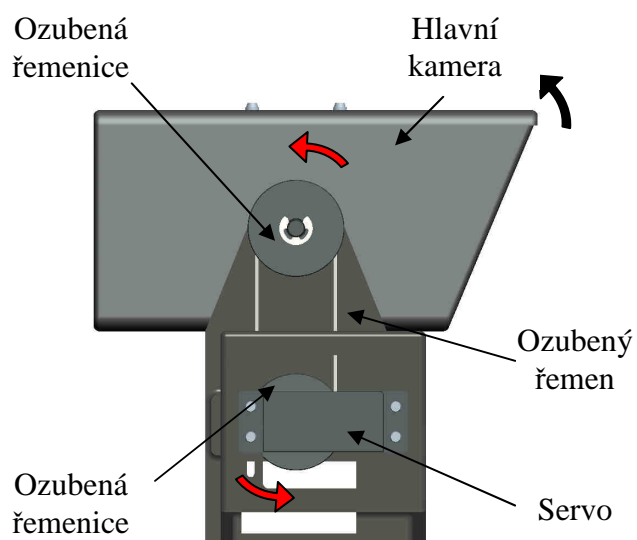


Umožnění pohybu naklápěcí plošiny je dosaženo uložením čepů v kluzných pouzdrech (obr. 34). Jedná se o samomazná kluzná pouzdra vyrobená z materiálu iglidur® M250 (viz. příloha 4), která se vyznačují svou rázovou houževnatostí, tlumením vibrací a odolností vůči opotřebení. Obě kluzná pouzdra jsou uložena v dírách otočné vidlice. Ta je vyrobena 3D tiskem. Použitým materiálem je plast ABS. Na delším z čepů (obr. 31.) je nasazena ozubená řemenice. Ta je proti pootočení na čepu zajištěna stavěcím šroubem (dosáhnutí přenosu kroutícího momentu z ozubené řemenice na čep) a proti axiálnímu vysunutí třmenovým kroužkem. Kratší z čepů (obr. 32) je proti axiálnímu vysunutí také zajištěn třmenovým kroužkem.



Obr. 34

Na otočné vidlici je umístěno servo s výstupní pákou. Na výstupní páce je připevněna ozubená řemenice. Kroutící moment, který servo vyvozuje, je skrze ozubenou řemenici a následně ozubený řemen přenášen na druhou ozubenou řemenici (obr. 35). Ta je přes čep spojena s naklápěcí plošinou a dochází tak k naklopení kamery.



Obr. 35

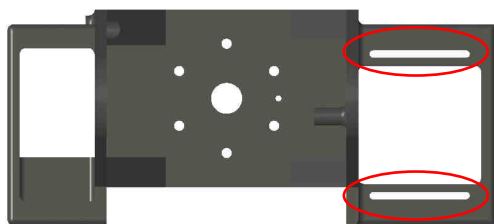
Poznámka: řezy na obrázcích neodpovídají zvyklostem technického kreslení z důvodu omezených možností programu ProEngineer.

## 7.2 Napínání ozubeného řemenu

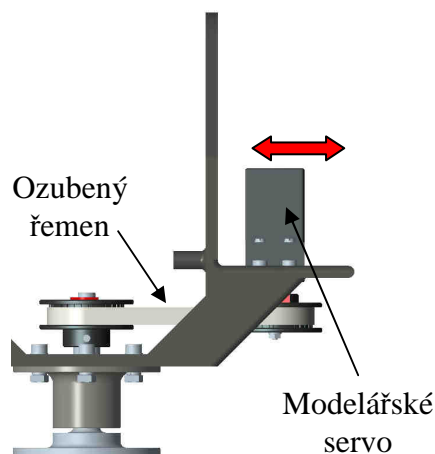
Napínání ozubeného řemenu pro vertikální rotaci se uskutečňuje následujícím způsobem. Lože otočné vidlice pro modelářské servo je opatřeno dvěma průchozími drážkami (obr. 36). Šroubovému spoji, který spojuje modelářské servo s ložem, je umožněn pohyb ve směru napínání řemenu (obr. 37, obr. 39). Po dostatečném napnutí řemenu je šroubový spoj dotažen.

Pro napínání ozubeného řemenu horizontální rotace je využit stejný princip jako u rotace vertikální (obr. 39).

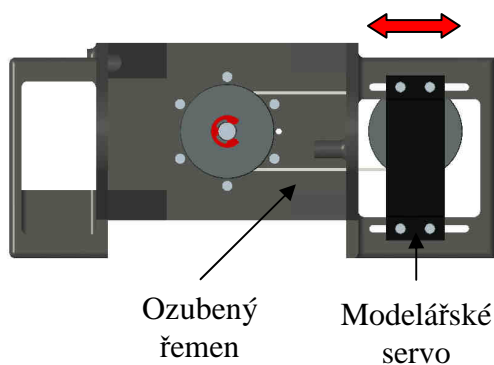
Otočná vidlice je opatřena dorazem (obr. 39), aby nemohlo dojít ke kolizi mezi kamerou a ozubeným řemenem vertikální rotace.



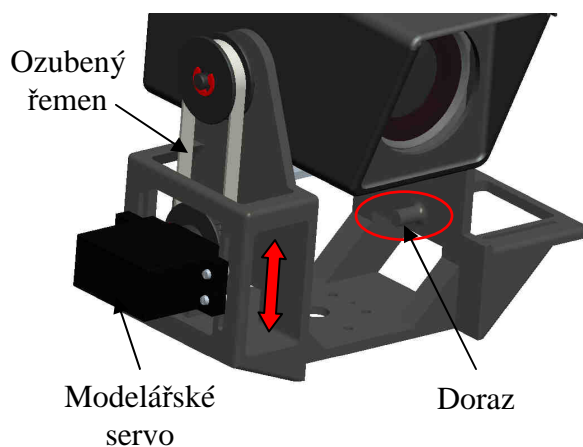
Obr. 36



Obr. 38



Obr. 37



Obr. 39

### 7.3 Držák zadní kamery

Držák zadní kamery (obr. 40) je jednolitou součástí, která je vyrobena 3D tiskem. Použitým materiálem je plast ABS. V dolní části držáku je díra pro jeho šroubové připevnění na otočnou vidlici. V horní části držáku jsou čtyři díry pro upevnění zadní kamery spolu s krytem a jeden otvor pro vývod kabeláže zadní kamery. Skoro po celé délce držáku se táhne žebro z důvodu zpevnění součásti.



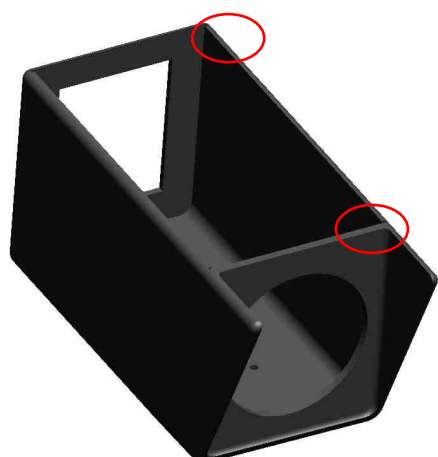
Obr. 40

### 7.4 Krytování kamer

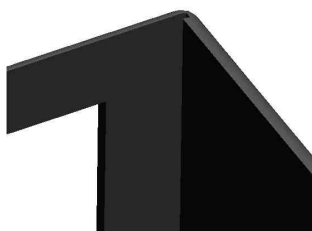
Obě kamery jsou opatřeny ochranným krytem, který je chrání před mechanickým poškozením a vnějšími vlivy (prach, vlhkost, bahno). Krytování je řešeno, tak aby byla zajištěna snadná vyjímatelnost kamery.

#### 7.4.1 Krytování hlavní kamery

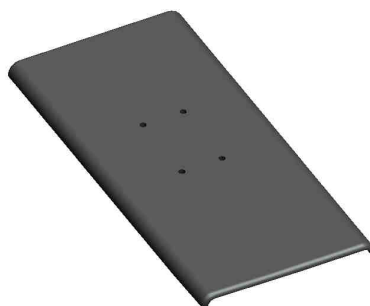
Krytování hlavní kamery se skládá zejména z pouzdra (obr. 41) a víka pouzdra (obr. 44). Oba komponenty jsou vyrobeny 3D tiskem. Použitým materiálem je plast ABS. Pouzdro je opatřeno dvěma drážkami, které se táhnou po celém obvodu (obr. 42, obr. 43). Do drážek jsou zasunuta ochranná plexiskla. Zadní plexisklo (obr. 45) je navíc opatřeno otvory pro vývod kabeláže. Pouzdro spolu s hlavní kamerou jsou šroubovým spojem připevněny k naklápěcí plošině. Víko pouzdra je upevněno šroubovým spojem ke kameře (obr. 46).



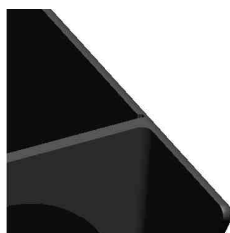
Obr. 41



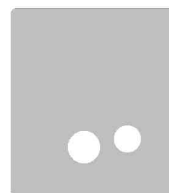
Obr. 42



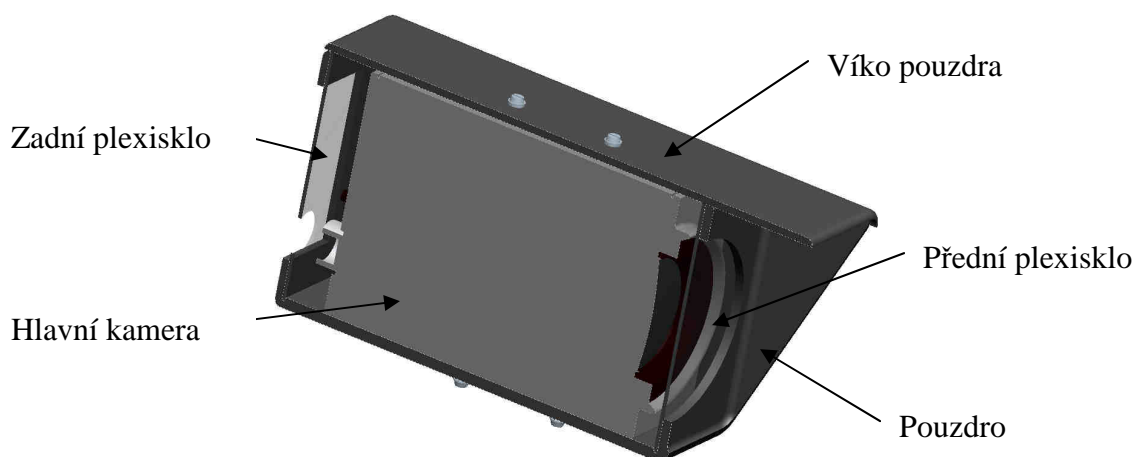
Obr. 44



Obr. 43



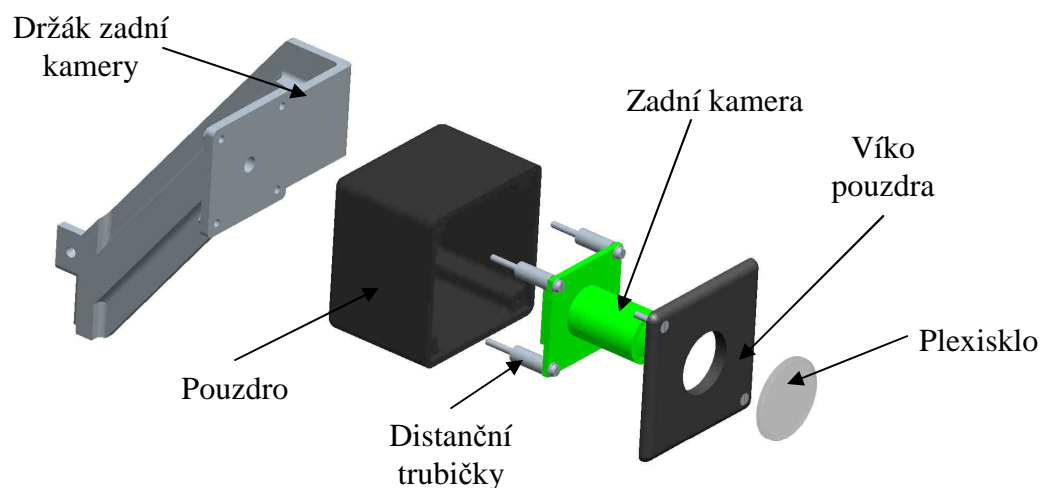
Obr. 45



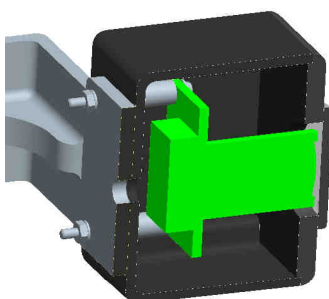
Obr. 46

#### 7.4.2 Krytování zadní kamery

Krytování zadní kamery tvoří zejména pouzdro (obr. 47). To je spolu se zadní kamerou přichyceno šrouby k držáku kamery. Potřebná vzdálenost kamery od dna pouzdra je řešena distančními trubičkami. Pouzdro je uzavřeno víkem pouzdra. Ve víku pouzdra je vytvořen otvor pro výhled kamery. Výhled je opatřen kulatým plexisklem, které chrání objektiv kamery před mechanickým poškozením. V pouzdře a držáku kamery jsou díry pro vývod kabeláže. (obr. 48). Pouzdro a víko pouzdra jsou vyrobeny 3D tiskem. Použitým materiálem je plast ABS.



Obr. 47



Obr. 48

## 7.5 Spojení páky a ozubené řemenice

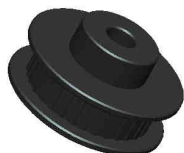
Standardní páka (obr. 49), která je dodávána k modelářskému servu je konstrukčně upravena dle dodané výrobní dokumentace (obr. 50). Zakoupená ozubená řemenice (obr. 51) je rovněž konstrukčně upravena dle výrobní dokumentace (obr. 52). Jejich spojením pak vznikne komponent (obr. 53) pro přenos kroutícího momentu ze serva. Spojení je realizováno tvarem a šroubovým spojením. Výhodou takového spojení je, že šrouby nebudou namáhány na stříh.



Obr. 49



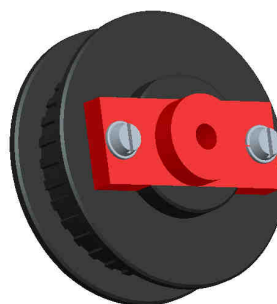
Obr. 50



Obr. 51



Obr. 52



Obr. 53

## 8. Kontrolní výpočty

### 8. 1 Kontrola pohonů

#### 8. 1. 1 Kontrola pohonu vertikální rotace

Kroutící moment modelářského serva	$M_s = 490,33 [N \cdot mm]$	[8.1]
------------------------------------	-----------------------------	-------

Úhlová rychlost modelářského serva	$\omega_s = 5,82 [rad \cdot s^{-1}]$	[8.2]
------------------------------------	--------------------------------------	-------

Doba za kterou m. servo dosáhne max. rychlosti	$t_s = 0,1 [s]^*$	[8.3]
--	-------------------	-------

Moment setrvačnosti všech hmot konajících vertikální rotaci	$I_{vr} = 1\,825,027 \cdot 10^{-6} [kg \cdot m^2]$	[8.4]
	hodnota na základě programu ProEngineer	

\* tuto hodnotu jsem zvolil intuitivně, abych mohl určit hodnotu zrychlení modelářského serva. Hodnota zrychlení se u modelářských serv neudává a dala by se zjistit pouze experimentálně.

výpočet zrychlení  $\alpha_s$ :

$$\omega_s = \alpha_s \cdot t_s \rightarrow \alpha_s = \frac{\omega_s}{t_s} = \frac{5,82}{0,1} = 58,2 [rad \cdot s^{-2}] \quad [8.5]$$

výpočet potřebného kroutícího momentu  $M_{vr}$  pro vertikální rotaci:

$$M_{vr} = I_{vr} \cdot \alpha_s = 1\,825,027 \cdot 10^{-6} \cdot 58,2 = 0,10622 [N \cdot m] = 106,22 [N \cdot mm] \quad [8.6]$$

$M_{vr} \leq M_s$       potřebný kroutící moment pro vertikální rotaci je nižší než kroutící moment, který je modelářské servo schopno vyvinout. Modelářské servo vyhovuje.



### 8. 1. 2 Kontrola pohonu horizontální rotace

Kroutící moment modelářského serva	$M_s = 490,33 \text{ [N} \cdot \text{mm]}$	[8.7]
------------------------------------	--	-------

Úhlová rychlost modelářského serva	$\omega_s = 5,82 \text{ [rad} \cdot \text{s}^{-1}]$	[8.8]
------------------------------------	---	-------

Doba za kterou m. servo dosáhne max. rychlosti	$t_s = 0,1 \text{ [s]}^*$	[8.9]
--	---------------------------	-------

Moment setrvačnosti všech hmot konajících horizontální rotaci	$I_{hr} = 721,986 \cdot 10^{-6} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2]$ hodnota na základě programu ProEngineer	[8.10]
---	---	--------

\* tuto hodnotu jsem zvolil intuitivně, abych mohl určit hodnotu zrychlení modelářského serva. Hodnota zrychlení se u modelářských serv neudává a dala by se zjistit pouze experimentálně.

výpočet zrychlení  $\alpha_s$ :

$$\omega_s = \alpha_s \cdot t_s \rightarrow \alpha_s = \frac{\omega_s}{t_s} = \frac{5,82}{0,1} = 58,2 \text{ [rad} \cdot \text{s}^{-2}] \quad [8.11]$$

výpočet potřebného kroutícího momentu  $M_{vr}$  pro vertikální rotaci:

$$M_{vr} = I_{vr} \cdot \alpha_s = 721,986 \cdot 10^{-6} \cdot 58,2 = 0,04202 \text{ [N} \cdot \text{m]} = 42,02 \text{ [N} \cdot \text{mm}] \quad [8.12]$$

$M_{hr} \leq M_s$  potřebný kroutící moment pro horizontální rotaci je nižší než kroutící moment, který je modelářské servo schopno vyvinout. Modelářské servo vyhovuje.

### 8.2 Kontrola ložisek

Byla zvolena jednořadá kuličková radiální ložiska s krycími plechy na obou stranách. Typ 619/7-2Z (viz. příloha. 7). [6]

Statická únosnost	$C_0 = 0,56 [kN]$	[8.13]
-------------------	-------------------	--------

Dynamická únosnost	$C = 1,48 [kN]$	[8.14]
--------------------	-----------------	--------

Otáčky	$n = 55,56 [ot \cdot min^{-1}]$	[8.15]
--------	---------------------------------	--------

Hmotnost všech hmot konajících vertikální rotaci	$m_{vr} = 0,860 [kg]$	[8.16]
--	-----------------------	--------

Exponent rovnice trvanlivosti	$p = 3 [-]$	[8.17]
-------------------------------	-------------	--------

Výpočet axiální síly (vychází z působení všech hmot konajících vertikální rotaci):

$$F_a = m_{vr} \cdot g = 0,860 \cdot 9,81 = 8,44 [N] \quad [8.18]$$

Velikost působící radiální síly během provozu nejsme schopni zjistit jinak než experimentálně. Proto volím určitou kritickou hodnotu, které nebude při provozu určitě přesáhnuto.

$$F_r = 100 [N] \quad [8.19]$$

součinitel vycházející z poměru  $F_a/C_0$ :

$$f_0 = \frac{F_a}{C_0} = \frac{0,00844}{0,56} = 0,015 [-] \quad [8.20]$$

$$\text{nejbližší vyšší hodnota } f_0 = 0,172 [-] \rightarrow e = 0,19 [-] \quad [8.21]$$

poměr  $F_a/F_r$ :

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{0,00844}{0,1} = 0,084 [-] \quad [8.22]$$

$$0,084 \leq e \rightarrow P = F_r \quad [8.23]$$

výpočet životnosti:

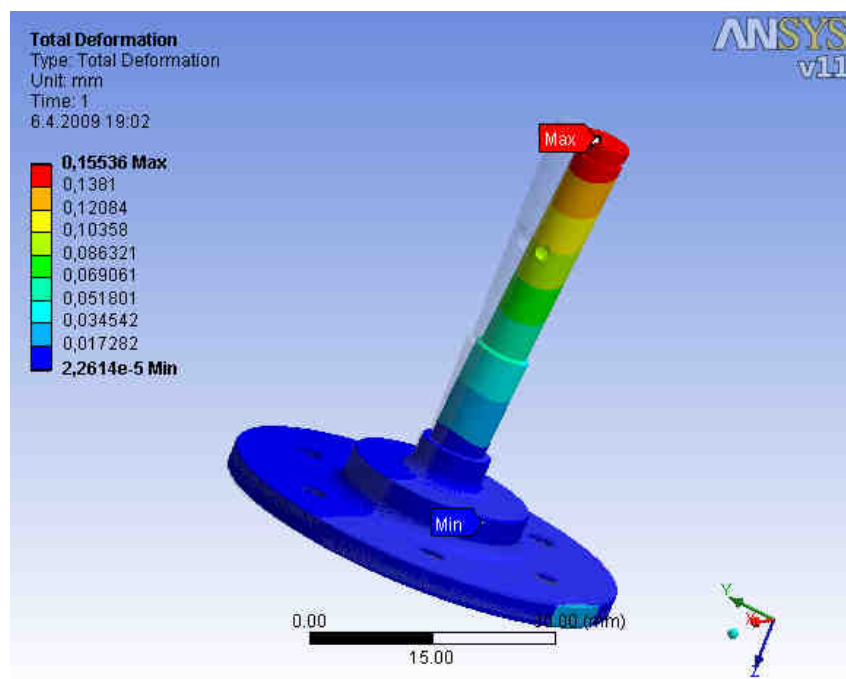
$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p = \left( \frac{1,48}{0,1} \right)^3 = 3\,241,79 [10^6 ot] \quad [8.24]$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n_s} \cdot L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot 55,56} \cdot 3\,241,79 = 972\,459 [h] \quad [8.25]$$

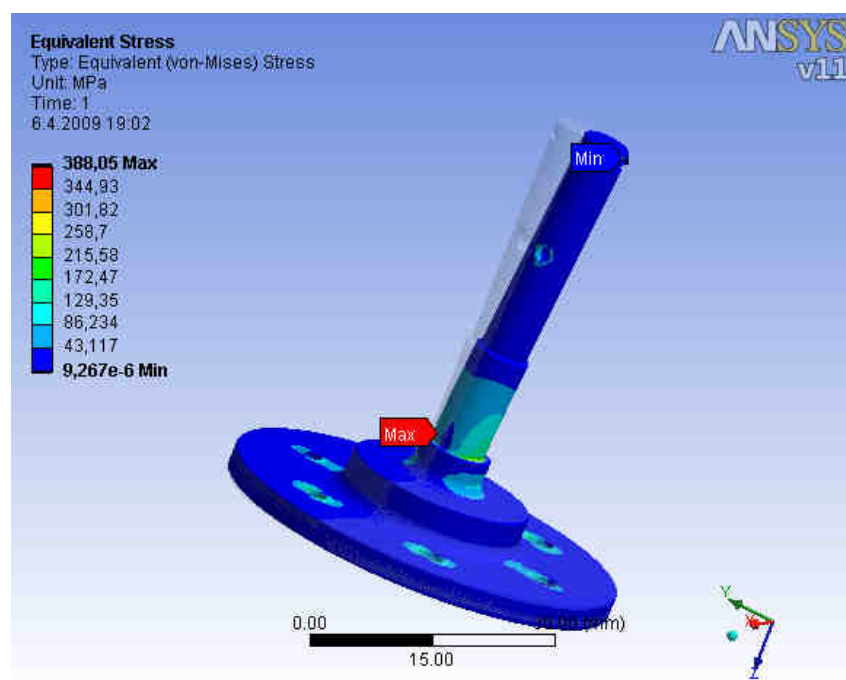
Ložisko je silně předimenzováno, avšak na základě rozměrů je pro konstrukci vhodné

### 8. 3 Pevnostní analýza hřídele

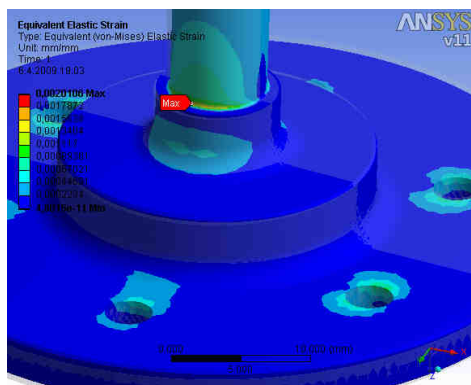
Byla provedena pevnostní analýza nehybného hřídele pro vertikální rotaci (v programu „Ansys Workbench“), na základě které zjišťuji jestli je hřídel dostatečně pevný. Všechny potřebné informace o průběhu analýzy jsou uvedeny v příloze (viz. příloha 8).



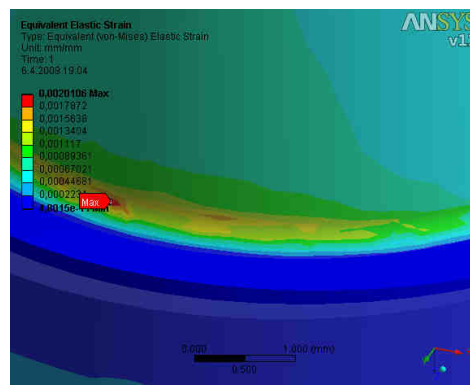
Obr. 54



Obr. 55



Obr. 56



Obr. 57

Na základě pevnostní analýzy jsem zjistil, že zkoumaný hřídel je schopen vydržet dané zatížení. Maximální celková deformace je přibližně 0,16 mm (obr. 54), což je přípustné. Zjištěná napětí nepřesahují meze zvoleného materiálu (obr. 55, obr. 56, obr. 57).

#### 8. 4 Osová vzdálenost ozubených řemenic

$$\text{Délka ozubeného řemene} \quad L_w = 210 \text{ [mm]} \quad [8.26]$$

$$\text{Průměr roztečné kružnice ozubené řemenice} \quad d_w = 24,95 \text{ [mm]} \quad [8.27]$$

Jelikož byl pro řemenový převod zvolen převodový poměr 1:1, jsou velikosti roztečných kružnic stejné.

$$d_w = d_{w1} = d_{w2} \quad [8.28]$$

osová vzdálenost  $a$ :

$$a = K + \sqrt{K^2 - \frac{(d_{w2} - d_{w1})^2}{8}} = 32,89 + \sqrt{32,89^2 - \frac{(24,95 - 24,95)^2}{8}} = 63,92 \text{ [mm]} \quad [2] \quad [8.29]$$

kde

$$K = \frac{L_w}{4} - 0,393 \cdot (d_{w1} + d_{w2}) = \frac{210}{4} - 0,393 \cdot (24,95 + 24,95) = 32,89 \text{ [mm]} \quad [2] \quad [8.30]$$

Výsledná osová vzdálenost ozubených řemenic je 63, 92 [mm].

## 9. Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat jednoduchý kamerový subsystém pro stávající mobilní robot. Na základě provedené analýzy současných polohovacích mechanismů jsem vytvořil konkrétní varianty řešení. Pomocí hodnotové analýzy jsem vybral optimální variantu a tu pak dále rozpracoval.

Nejdůležitějším prvkem vybrané varianty je nehybný hřídel. Ten slouží jako základ celého mechanismu. Dalším prvkem je otočná plošina, která funguje jako ložiskový domek a zároveň ložiska chrání před znečištěním. Ložiska jsou spolu s otočnou plošinou nasazeny na nehybný hřídel a je tak umožněna vertikální rotace. K otočné plošině je připevněna vidlice. Ta má funkci lóže pro oba pohony (modelářská serva) a zároveň nosného elementu horizontální rotace. Ta probíhá pohyblivou vazbou čepů a kluzných pouzder, jenž jsou vmontována ve zmiňované vidlici. Samotné čepy pak přenášejí kroutící moment na plošinu, kde je umístěna hlavní kamera. Celým tímto mechanismem je dosaženo polohování s hlavní kamerou v požadovaných rozsazích. Součástí vidlice je navíc držák kamery, na kterém je připevněna zadní kamera. Takto je dosaženo vertikální rotace zadní kamery.

K přenosu kroutících momentů od pohonů byly zvoleny ozubené řemenové převody s převodovým poměrem 1:1. Řemenové převody jsou výhodné, jelikož umožňují synchronní pohyb, zachycují a tlumí chvění a rázy, nevyžadují velké předpětí, mají malé opotřebení a jsou odolné vůči vlivům prostředí. Nevýhodou je nutnost konstrukčně řešit napínání řemenu.

Kvůli použití ve venkovním prostředí, bylo nutno řešit krytování, zejména kamer. Každá z obou kamer má vlastní krytování skládající se z pouzdra a víka pouzdra. Pouzdra i víka budou vyrobeny 3D tiskem a to z materiálu ABS. Tyto komponenty je pak vhodné opatřit vhodným nátěrem, z důvodu nasakovosti použitého materiálu. Ta je způsobena použitou technologií výroby zmíněných komponent. Otvory sloužící jako výhled kamer jsou chráněny plexisklem. Zadní plexisklo hlavní kamery je navíc opatřeno otvory pro vývod kabeláže. Všechny mezery vzniklé spojením víka, pouzdra a plexiskla je dobré opatřit izolačním tmelem k zabránění vniku vlhkosti a nečistot. Ostatní části mechanismu krytovány nejsou a v budoucnu by bylo vhodné tento nedostatek řešit.

Kromě výše zmíněného krytování, bude 3D tisk použit na výrobu vidlice a držáku zadní kamery. Tím dosáhneme menší hmotnosti konstrukce. Sníží se tím i finanční náročnost výroby. Ostatní komponenty jsou vyrobeny z klasických konvenčních materiálů (ocel, hliník).

Samotná realizace projektu byla nakonec zrušena na základě rozhodnutí katedry. Důvody jsou zejména ekonomické.

## 10. Použitá literatura

- [1] SKAŘUPA, Jan. *Metodika konstruování*. 1. vydání. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1993. 152 s. ISBN 80 - 7078 - 167 - X.
- [2] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 4. doplněné vydání. Úvaly: ALBRA - pedagogické nakladatelství, 2008. 914 s. ISBN 978 - 80 - 7361 - 051 - 7.
- [3] DRASTÍK, František; a kolektiv. *Strojnické tabulky pro konstrukci a dílnu: druhé doplněné vydání*. 1. dotisk 2. vydání. Ostrava: Montanex a.s., 1999. 722 s. ISBN 80 - 85780 - 1290 - 8.
- [4] SVOBODA, Pavel; BRANDEJS, Jan; PROKEŠ, František. *Základy konstruování*. 3. přepracované vydání. Brno: Akademické nakladatelství Cerm@, s.r.o., 2005. 202 s. ISBN 80 - 7204 - 405 - 2.
- [5] NOVÁK, Pavel. *Mobilní pohony*. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2005. 247 s. ISBN 80 - 7300 - 141 - 1.
- [6] <http://www.skf.cz>
- [7] <http://eshop.comintech.cz/good.php?goodId:714|EQ-2700-DSP-Den-Noc-kamera-Eve>
- [8] <http://www.escadtrade.cz/mtv-54k0p-barevna-deskova-kamera-s-vysokym-rozlisenim.html>
- [9] <http://www.mz-racing.net/p553-hi3105-servo-hitec-hs-635-hb/>
- [10] <http://eshop.comintech.cz>
- [11] <http://robot.vsb.cz/zaverecne-prace/17/>
- [12] <http://www.lynxmotion.com/Product.aspx?productID=287&CategoryID=61>
- [13] <http://www.adept.net.au/accessories/PanTiltUnits.shtml>
- [14] <http://www.cats.rpi.edu/>
- [15] <http://www.twoplustwoequalsfive.com/olin/poe/mechanical.php>
- [16] [http://pdv.cs.tu-berlin.de/MARVIN/mark\\_ii\\_image\\_acquisition.html](http://pdv.cs.tu-berlin.de/MARVIN/mark_ii_image_acquisition.html)
- [17] <http://forums.trossenrobotics.com/showthread.php?p=29704>
- [18] <http://www.rotta.cz/PDF/tat101.pdf>
- [19] <http://www.rcm-pelikan.cz/index.php?sec=list&storage=71>
- [20] <http://vlastikd.webz.cz/bastl/serva.htm>
- [21] <http://www.converter.cz/prevody/krounici-moment.ht>
- [22] <http://www.teatechnik.cz/>

## 11. Přílohy

- 1) Katalogový list kamery EQ-2700 DSP (česky, anglicky)
- 2) Katalogový list kamery MTV-54K0P
- 3) Katalogový list modelářského serva Hitec HS-635-HB (česky, anglicky)
- 4) Katalogový list samomazných kluzných pouzder vyrobených z iglidur® M250
- 5) Katalogový list ozubených řemenic
- 6) Katalogový list ozubených řemenů
- 7) Katalogový list ložisek SKF, typ 619/7-2Z
- 8) Pevnostní analýza
- 9) Výkres sestavy
- 10) Výrobní výkresy
- 11) Montážní postup
- 12) Elektronická podoba bakalářské práce
  - Bakalářská práce
  - Záznam práce
  - Modely variant
  - Model optimální varianty
  - Přílohy
  - Výkresová dokumentace
  - Montážní postup